



Zaragoza-Grifé, Jesús Nicolás (2018).
(<https://orcid.org/0000-0002-8780-4401>)

Pech Pérez, Josué Gerardo (2018).

Elementos prismáticos paramétricos tridimensionales utilizados para edificación virtual.
p. 41-56

En:
BIM en la universidad / coordinadores: Aurora Minna Poó Rubio y Jorge Rodríguez-Martínez.
México: Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco, 2018.

Fuente: ISBN 978-607-28-1316-8

Relación: <http://hdl.handle.net/11191/5781>

Universidad
Autónoma
Metropolitana 
Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

<https://www.azc.uam.mx/>


Ciencias y Artes para el Diseño

<https://www.cyad.online/uam/>

Procesos
y Técnicas de Realización

<http://procesos.azc.uam.mx/>

 **Administración
y Tecnología para el Diseño**
Investigación

<https://administracionytecnologiaaparaeldiseno.azc.uam.mx/>

Repositorio Institucional
Zaloamati
"Preservar con amor y cariño el saber"

<http://zaloamati.azc.uam.mx>



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como
Atribución-NoComercial-SinDerivadas
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

D.R. © 2016. Universidad Autónoma Metropolitana. Se autoriza copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, siempre y cuando se den los créditos de manera adecuada, no puede hacer uso del material con propósitos comerciales, si remezcla, transforma o crea a partir del material, no podrá distribuir el material modificado. Para cualquier otro uso, se requiere autorización expresa de la Universidad Autónoma Metropolitana.

GUANGZHOU OPERA - ZAHA HADID WEBSITE



M.I. Jesús Nicolás Zaragoza Grifé
Universidad Autónoma de Yucatán, México
zgrife77@uady.mx

Universidad Autónoma de Yucatán, México
rpech@correo.uady.mx

04

ELEMENTOS PRISMÁTICOS PARAMÉTRICOS
TRIDIMENSIONALES UTILIZADOS PARA
EDIFICACIÓN VIRTUAL

RESUMEN

En este artículo son mostrados el desarrollo y utilización de los Elementos Prismáticos Paramétricos Tridimensionales (EPPT) para la edificación virtual. Estos elementos son utilizados como parte esencial de un software programado por los autores en la Facultad de Ingeniería de la UADY, que tiene como objetivo edificar virtualmente proyectos de construcción utilizando BIM (Building Information Model). Los elementos matemáticos que sustentan su desarrollo y utilización son formulados con nivel de detalle geométrico y algebraico. También es mostrado el desarrollo del sistema de referencia para la manipulación de los EPPT. Es mostrado el procedimiento para el cálculo de propiedades geométricas de los EPPT para su utilización en la cuantificación tales como: área, volumen y longitud.

Como resultados, además del desarrollo de los EPPT, se presentan algunas pantallas de un software ya desarrollado que utiliza los conceptos aquí presentados, se discuten algunas cuestiones del desarrollo y se plantean posibles respuestas como solución basadas en una técnica de inteligencia artificial (IA). Entre las conclusiones más importantes, los autores mencionan que en la mayoría de las herramientas comerciales los procesos funcionan como cajas negras y que aportan poco al conocimiento para mejorar el desarrollo tecnológico en el tema de edificación virtual. Además, los autores proponen el material expuesto en este artículo como material didáctico para cursos de Matemáticas aplicadas a nivel licenciatura en las carreras de ingeniero civil o constructor, particularmente en cursos de Cálculo Vectorial.

Palabras Clave: edificación virtual, Building Information Model (BIM), CAD, Fuzzy Logic y Software para construcción.

ABSTRACT

Developing and using of Tridimensional Parametric Prismatic Elements (TPPE) are introduced in this paper. Such elements are used as basis in particular programmed software by the authors in Faculty of Engineering of Autonomous University of Yucatan, (FIUADY). Main purpose for this software is virtual building of construction projects using BIM (Building Information Model). Mathematics and geometry used in developing TPPE are showed in deep. Also, developing of reference system used to manipulate TPPE is presented. Procedures are showed in this paper for calculation of geometric properties such as area, volume and length of an arbitrary TPPE.

As a result of this work, a few software screenshots are presented and a discussion about of development of concepts presented in this paper. Some recommendations are made by the author about using Artificial intelligence (AI) for solving geometric intersections among TPPE. Among the most important author conclusions of this work, are such as the most software tools available in the market today work like a black box and give a little knowledge contribution in order to improve BIM technology. Furthermore, author recommends that the presented topics can be used for educational purposes in undergraduated courses of Civil or Construction Engineering, particularly in Vectorial Calculus.

Keywords: Virtual Building, Building Information Model (BIM), CAD, Fuzzy Logic and Construction Software.

INTRODUCCIÓN

La edificación virtual ha venido tomando auge en los últimos años, gracias a los avances en las tecnologías de información y el potencial creciente del hardware (Revit, 2008). Así como ahora es difícil concebir que se dibujen planos constructivos a mano ya que en la actualidad se utilizan sistemas CAD (Computer Aided Design), pronto lo será el de concebir que las construcciones no se edifiquen primero de manera virtual (K. Nassar, et al., 2002). Esto conlleva muchas

ventajas muy por encima del dibujo CAD tradicional. Entre las ventajas más sobresalientes son aquellas que permitirán prever problemas constructivos antes de que se estén dando en la realidad. Además de la visualización tridimensional, tanto la cuantificación como el costeo son obtenidos de manera directa. Otro aspecto importante es que al modificar algún parámetro todo el modelo virtual puede ser actualizado de manera automática sin perder su consistencia topológica (Sacks, R. et al., 2003).

Cabe mencionar que han sido realizadas investigaciones para que los elementos constructivos reales posean sensores que de manera automática realicen el vaciado de información proporcionando datos acerca de su localización en el lugar de la obra y se pueda digitalizar el modelo de la construcción para llevar un adecuado control sobre cambios y modificaciones del mismo. (G. Suter, et al., 2007). Así mismo, el impacto de la edificación virtual en la compartición de información entre equipos de trabajo, conformados por ingenieros y arquitectos ha cobrado un importancia tal que se han desarrollado esfuerzos comunes para implementar por medio de servidores Web soluciones que permiten hacer más eficiente estos procesos (P.H Chen, et al., 2005).

En México se hace uso ya de paquetería de software comercial de firmas reconocidas asociada con la edificación virtual (ArchiCAD, 2008). También han sido realizados notables esfuerzos para la cuantificación, costeo y control de obra por medio del uso de la computadora y planos en formato electrónico (All Plan, 2008) y (Neo Data CAD, 2008). Sin embargo, en su mayoría, los mencionados paquetes computacionales no son adaptables al tipo de construcción que se lleva a cabo en México. Por lo que además de que no es conveniente que los profesionales dedicados al diseño y a la construcción sean simples usuarios de paqueterías comerciales, sino que participen en el desarrollo de herramientas producto de investigaciones que se adapten a las necesidades particulares de cada uno; por esto en este artículo se propone una solución original para el desarrollo de un sistema computacional adaptable que permita

realizar la edificación virtual para las construcciones típicas de la región.

METODOLOGÍA

Los elementos prismáticos paramétricos tridimensionales (EPPT) que son mostrados en este artículo como parte central de la propuesta, tienen como base las Entidades Geométricas y los Objetos Sólidos Primarios presentados en (R. Kunigahalli, 1997), los cuales son prismas regulares formados por seis caras cada una de las cuales tiene cuatro aristas definidas mediante dos vértices. Aunque los autores del presente trabajo se han permitido realizar algunas adecuaciones para poder representar y manipular los EPPT de manera que se puedan implementar en la computadora. Entre otras aportaciones para la manipulación de Objetos sólidos Primarios se encuentran la de (K. Talbot, 2007), el cual propone un sistema generativo sensible al contexto para el dimensionamiento y colocación de los elementos constructivos en el dibujo, manejando las intersecciones y las proyecciones con los elementos circundantes en la vecindad del dibujo.

SISTEMA DE REFERENCIA EN PLANTA

Para la utilización de los EPPT, se tomará el sistema de referencia utilizado denominado Sistema de Ejes Constructivos o de Trazo en Planta. Este sistema por lo general se encuentra representado en la mayoría de los planos ejecutivos para edificación. Son utilizados ampliamente, para referenciar las proyecciones en planta de los diferentes elementos de edificación que forman parte del proyecto. Por lo general este sistema de ejes se utiliza para los planos de proyección en planta, aunque en ocasiones también se les encuentra a manera de referencia vertical en los planos de corte y alzado. Dependiendo de las particularidades del proyecto, los ejes pueden ser: Ortogonales, Inclinaados, Circulares y por último de formas muy específicas tales como Elípticos, Parabólicos, etc.

Cada eje debe contar con un identificador único, este identificador por lo general es una letra ó un número. Es

común encontrar en los dibujos de los planos ejecutivos que los ejes verticales tienen como identificador único una letra y los horizontales un número, ver Figura 4.1. Es posible también, encontrar identificadores para los ejes con la misma letra de otro eje ya existente pero con uno o más apóstrofos precediendo a la letra o al número. Por lo general estos ejes fueron agregados a los planos posteriormente ya sea por cambios en el proyecto o por una simple omisión de los mismos.

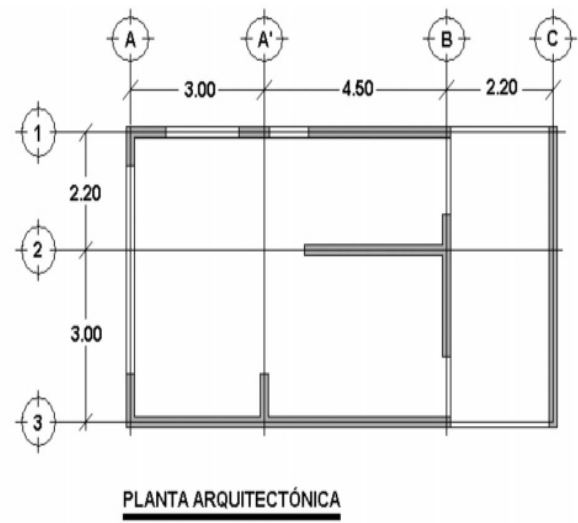


Figura 4.1 Planta arquitectónica típica con referencias a ejes

Entonces para el caso de los ejes rectilíneos es necesario para su representación contar con al menos dos puntos que no necesariamente son los extremos del eje y un nombre de identificación válido único. Es de observarse que los puntos obedecen al sistema de referencia cartesiano rectangular, ver Figura 4.2.

Para representar un eje circular es necesario conocer el radio y la ubicación del centro del círculo. Cabe mencionar que una variante importante de eje de tipo circular es el que tiene forma de arco circular. Puede ser que en el dibujo del plano, eventualmente sea necesario usar una parte del círculo, por lo que para el caso del arco, es necesario definir el ángulo de origen y el ángulo de terminación, los cuales están referenciados a un sistema polar local con origen en el centro del arco y el sentido positivo de los ángulos ocurre en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Se mide a partir del eje positivo 'x' de referencia local, ver Figura 4.3.

De manera similar, se puede definir cualquier trayectoria para los ejes, solo es necesario conocer los parámetros geométricos que los definen. Por ahora, se ha tratado de la definición de los ejes y sus propiedades particulares, sin embargo la mayor importancia se da cuando se tiene un sistema de estos ejes. En el sistema de ejes se da un conjunto de intersecciones que servirán para ubicar a los EPPT, ver Figura 4.4.

La ubicación en planta de los EPPT se define mediante dos y solo dos puntos de intersección provenientes del sistema de ejes. Cabe mencionar que estos puntos de intersección se dan en el plano cartesiano con $z = 0$. A este par de puntos P1 y P2 se les denominará puntos de inserción respectivamente.

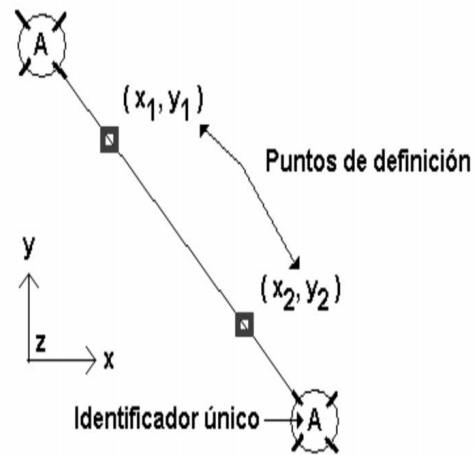


Figura 4.2 Eje inclinado con sus elementos que lo definen

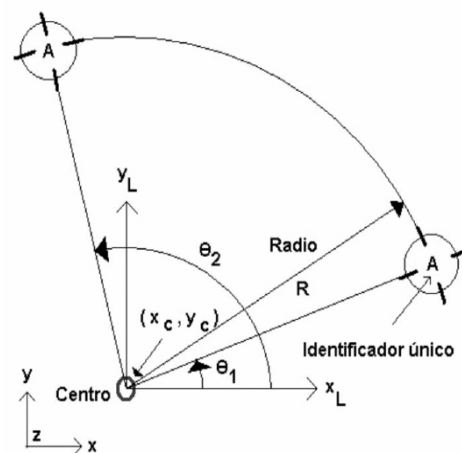


Figura 4.3 Eje en forma de Arco con sus elementos que lo definen

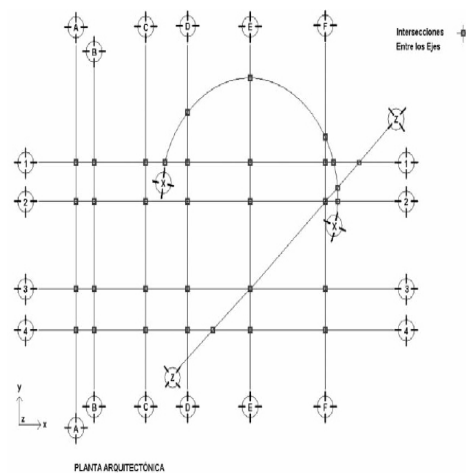


Figura 4.4 Planta arquitectónica de ejemplo con las intersecciones entre los ejes marcadas

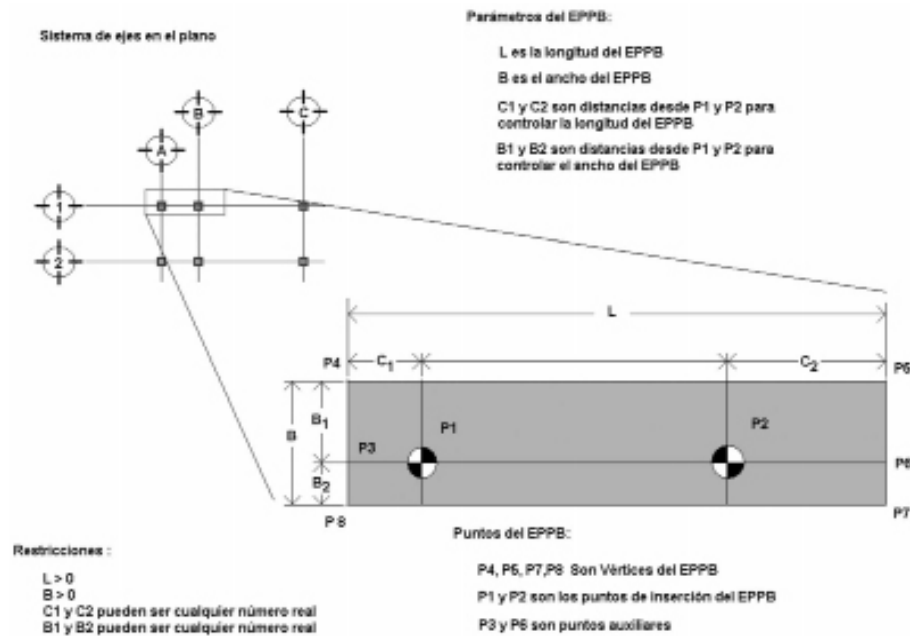


Figura 4.5 Descripción de un Elemento Prismático Paramétrico Tridimensional

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	RANGO
P1	Punto de Inserción 1	Pareja ordenada de reales obtenida desde una intersección de dos Ejes del Sistema de Ejes.
P2	Punto de Inserción 2	Pareja ordenada de reales obtenida desde una intersección de dos Ejes del Sistema de Ejes
L	Longitud	Solo positivos diferentes de cero.
C1	Distancia medida entre P1 y P3	Todos los números reales.
C2	Distancia medida entre P2 y P6	Todos los números reales.
TL	Tipo de longitud utilizada	Puede ser: 0 – Dado L y C1 1 – Dado L y C2 2 – Dado C1 y C2
B	Ancho	Solo positivos diferentes de cero.
B1	Distancia medida entre P3 y P4	Todos los números reales.
B2	Distancia medida entre P3 y P8	Todos los números reales.

Tabla 4.1 Descripción de parámetros del Elemento Prismático Tridimensional

También cada uno de los EPPT que forman parte de la edificación virtual tiene dos conjuntos de parámetros, el primero $\{L, C1, C2 \text{ y } TL\}$ y el segundo $\{B, B1, B2 \text{ y } TB\}$, ver Figura 4.5. Cabe mencionar que la propuesta actual es que el EPPT en planta sea ortogonal. Aunque más adelante se discutirá la manera de representar las intersecciones con otros EPPT en el modelo.

Esaquí donde las matemáticas intervienen con detalle. Para poder representar la proyección en el plano del sistema de ejes del EPPT es necesario calcular el conjunto de puntos $\{P3, P4, P5, P6, P7, P8\}$. El cálculo de las coordenadas de estos puntos dependerá de los parámetros del EPPT.

La metodología para la obtención del conjunto de puntos que definen al EPPT se detalla a continuación:

PASOS 1 A 3 – CÁLCULOS PRELIMINARES

- **Paso 1** - Los puntos de inserción P1 y P2 son definidos.
- **Paso 2** - Los parámetros $\{L, C1, C2 \text{ y } TL\}$ y $\{B, B1, B2 \text{ y } TB\}$ son definidos.
- **Paso 3** - Calcular el vector unitario entre P1 y P2 al cual se le denominará \vec{V} . Para calcular el vector unitario se utiliza la ecuación (1).

$$\text{Ecuación (1)} \quad \vec{V}_{Uni} = \frac{\langle (P2_x - P1_x), (P2_y - P1_y), (P2_z - P1_z) \rangle}{\sqrt{(P2_x - P1_x)^2 + (P2_y - P1_y)^2 + (P2_z - P1_z)^2}}$$

PASOS 4 A 5 – OBTENCIÓN DE LOS PUNTOS AUXILIARES P3 Y P6

Para poder determinar las coordenadas de los puntos que conforman la proyección en el plano XY del EPPT se han utilizado dos ecuaciones; la ecuación (2) permite encontrar las coordenadas de un punto PA conocido otro punto PB ubicado a una determinada distancia D y con el vector de dirección V definido entre los dos puntos conocidos.

ECUACIÓN (2)

$$PA_x = PB_x + D \cdot V_x$$

$$PA_y = PB_y + D \cdot V_y$$

$$PA_z = PB_z + D \cdot V_z$$

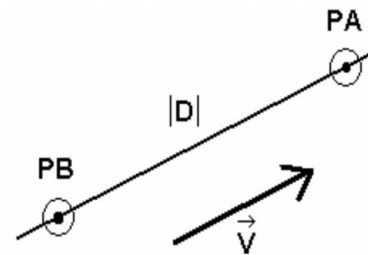


Figura 4.6 Representación gráfica de la Ecuación (2)

Por otro lado se utiliza también la Ecuación (3) que permite encontrar las coordenadas de un punto PC para el cual su proyección perpendicular a una distancia D cae sobre un punto conocido PB el cual esta alineado con un vector de dirección V, ver Figura 4.7

$$PC_x = PB_x + D \cdot V_x$$

$$PC_y = PB_y + D \cdot V_x$$

$$PC_z = PB_z + D \cdot V_z$$

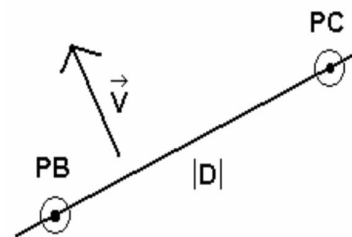


Figura 4.7 Representación gráfica de la Ecuación (3)

Paso 4.a.- Si el parámetro TL es igual a 0 es decir "Dado L y C1" o si el parámetro TL es igual a 2 es decir "Dado C1 y C2", entonces el punto P3 es calculado utilizando el valor de P1 y el valor del parámetro de distancia C1 y seguidamente el punto P6 es calculado utilizando el valor obtenido de P3 y el valor del parámetro de

distancia L. El cálculo de los puntos P3 y P6 es efectuado con la Ecuación (2).

Paso 4.b.- Por el contrario si el parámetro TL es igual a 1 es decir "Dado L y C2" entonces primero el punto P6 es calculado utilizando el valor de P2 y el valor del parámetro de distancia C2 y seguidamente se calcula el punto P3 utilizando el valor de P2 y el valor del parámetro de distancia L pero con signo negativo. El cálculo de los puntos P3 y P6 es efectuado con la Ecuación (2).

PASOS 5 A 6 – OBTENCIÓN DE LOS PUNTOS P4, P5, P7 Y P8

Paso 5.a.- Si el parámetro TB es igual a 0 es decir "Dado B y B1" o si el parámetro TB es igual a 2 es decir "Dado B1 y B2", entonces el punto P4 es calculado utilizando el valor de P3 y el parámetro B1 y el punto P5 es calculado utilizando el valor de P6 y el parámetro B1. El cálculo de los puntos P4 y P5 es efectuado con la Ecuación (3).

Paso 6.b.- Por el contrario si el parámetro TB es igual a 1 es decir "Dado B y B2" entonces primero el punto P7 es calculado utilizando el valor del punto P6 y el negativo del valor del parámetro de distancia B2. Se utiliza para su determinación la Ecuación (8). El punto P4 es calculado utilizando P3 y el valor de la distancia del parámetro del Ancho B como la proyección perpendicular al vector V_{uni} con la Ecuación (9).

SISTEMA DE REFERENCIA EN ALZADO

Para la representación en tres dimensiones del EPPT se utiliza el paradigma del nivel en la construcción. Matemáticamente este nivel está definido por un valor para la coordenada z la cual define ecuaciones de planos paralelos al plano XY (Plano $z = 0$).

El EPPT mantiene una proyección ortogonal en el nivel $z = 0$. Se puede observar que para representarlo de manera tridimensional se necesita indicar a que nivel inferior y superior estará asociado el EPPT en cada uno

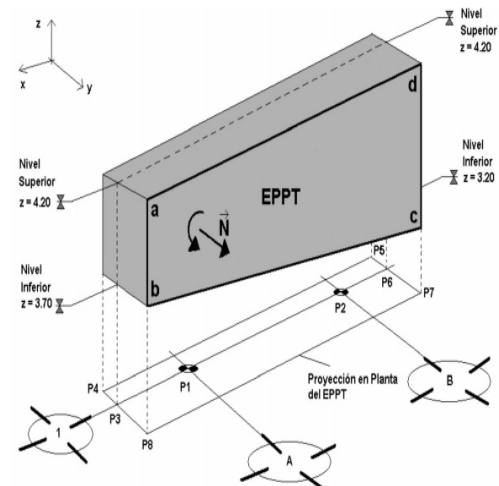


Figura 4.8 Representación tridimensional del EPPT

de sus extremos que están alineados con los puntos de inserción P1 y P2, ver Figura 4.8

Cada una de las seis caras que dan forma al EPPT es definida mediante vértices espaciales que unen las aristas de las caras. Por ejemplo la cara definida por el conjunto de vértices en el espacio $\{a, b, c, d\}$. Es importante que el cálculo de los vértices se haga en el sentido anti-horario para hacer que el vector normal al plano $abcd$ sea positivo. Es decir si se toma el vector ba y el vector bc y se realiza el producto vectorial $bc \times ba$ se obtenga el vector normal N . Esto es con el objetivo de que en el paquete computacional donde se utilicen los EPPT, se pueda asignar un color a las caras y sean visibles a la hora de obtener la vista tridimensional final de todos los componentes.

Para dar una idea de cómo obtener las coordenadas de los puntos de la cara $\{abcd\}$ se observa que los puntos a y b tienen en común las coordenadas (x, y) del punto P8, sin embargo la coordenada en z del punto a y la coordenada en z del punto b tienen el valor de la z de los niveles superior e inferior asociados al extremo 1 del EPPT respectivamente.

De la misma manera, la coordenada en z del punto d y la coordenada en z del punto c tienen el valor de la z de los niveles superior e inferior asociados al extremo 2 del EPPT respectivamente, ver Tabla 4.2 y Figura 4.9

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	RANGO
N.S.1	Nivel superior asociado al extremo 1	Un valor para z que puede tomar cualquier valor real.
N.I.1	Nivel inferior asociado al extremo 1	Un valor para z que puede tomar cualquier valor real.
N.S.2	Nivel superior asociado al extremo 2	Un valor para z que puede tomar cualquier valor real.
N.I.2	Nivel inferior asociado al extremo 2	Un valor para z que puede tomar cualquier valor real.

Tabla 4.2 Descripción de parámetros del Elemento Prismático Tridimensional en su ubicación fuera del plano de proyección

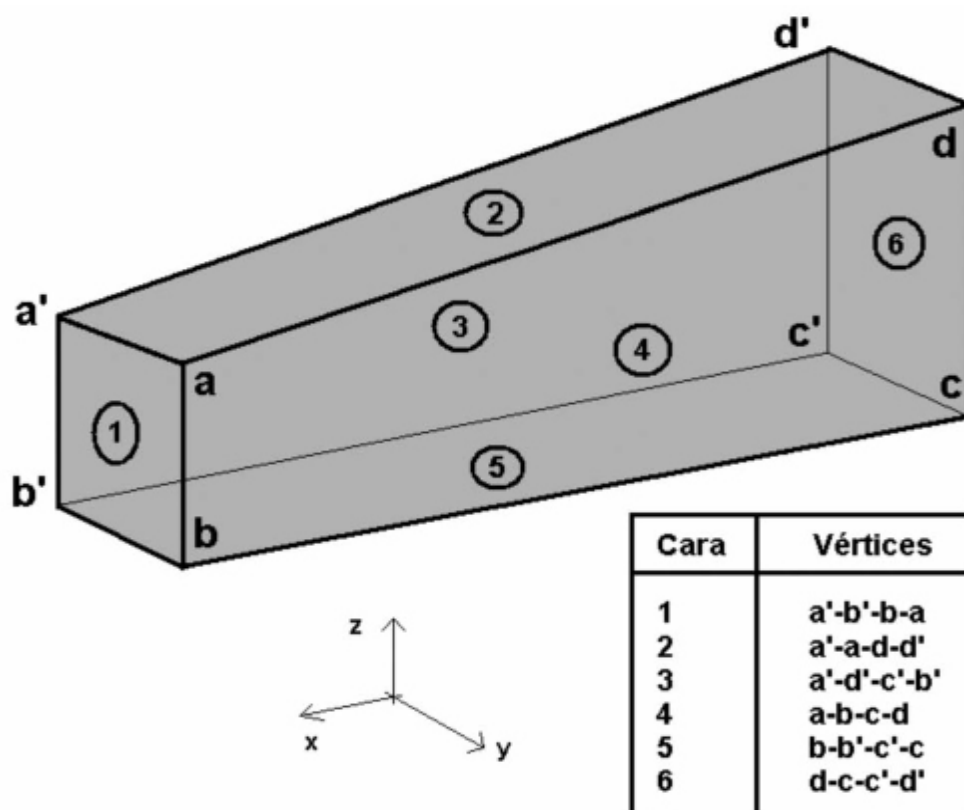


Figura 4.9 Elemento Prismático Tridimensional en su ubicación fuera del plano de proyección

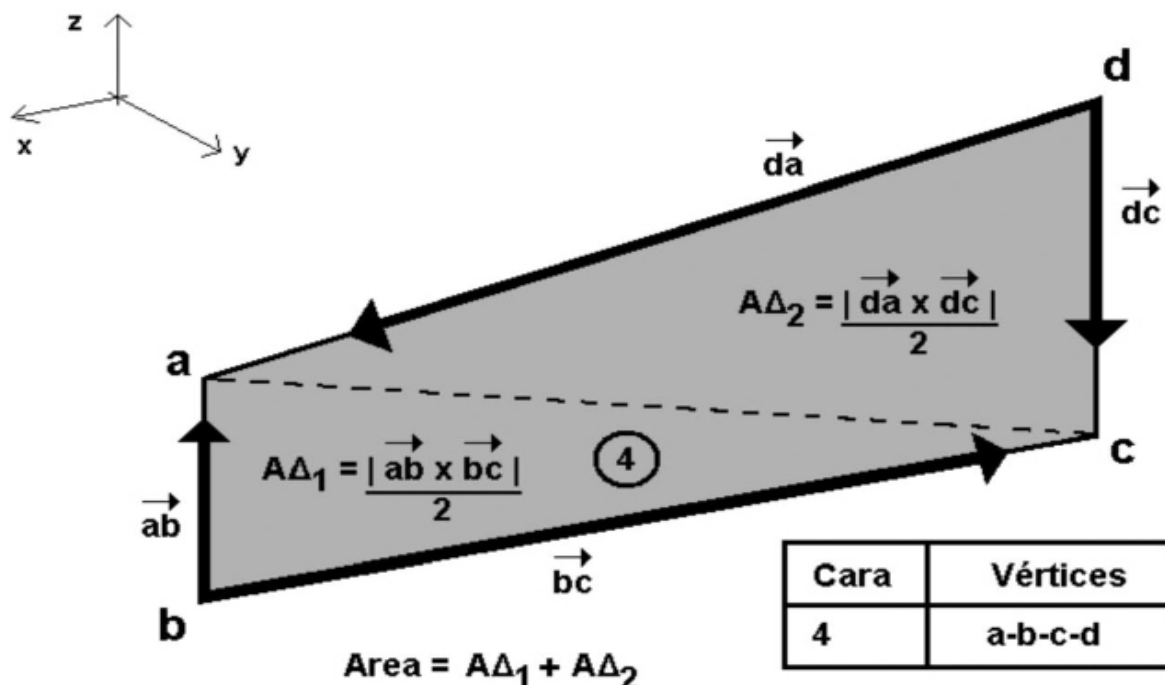


Figura 4.10 Área de la cara 4 de un Elemento Prismático Paramétrico Tridimensional

ÁREA

Para la determinación del área de alguna de las caras se utilizan la magnitud del resultado de la operación del producto cruzado entre dos vectores definidos mediante dos aristas consecutivas. Es conocido del álgebra de vectores, que la magnitud del producto cruzado de dos vectores es igual al área de un paralelogramo cuyos lados consecutivos tienen la misma magnitud que los vectores del producto respectivo.

Pero por conveniencia, se puede obtener únicamente el área de un triángulo al dividir el resultado a la mitad. De la misma manera, se obtiene el área del otro triángulo que se forma con la multiplicación vectorial de los otros dos vectores que forman la cara. Entonces el área de la cara es igual a la suma del área de los dos triángulos.

La separación triangular es conveniente como solución general en caso de que los vértices de la cara formen un cuadrilátero irregular. A manera de ejemplo, si se toma

la cara número 4 con el conjunto de vértices $\{a, b, c, d\}$ entonces para determinar su área se utiliza la Ecuación (4). Es evidente que los dos triángulos comparten un mismo lado que es una diagonal del cuadrilátero $\{abcd\}$, ver Figura 4.10

ECUACIÓN 4

$$\text{Area} = \frac{|\vec{ab} \times \vec{bc}| + |\vec{da} \times \vec{dc}|}{2}$$

VOLUMEN

Es conocido que para calcular el volumen de un tetraedro no regular cuyos vértices son A, B, C y D se puede utilizar la Ecuación (5). Este método utiliza las coordenadas de los vértices y el cálculo de un determinante de grado cuatro.

ECUACIÓN 5

$$V = \frac{1}{6} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ x_A & x_B & x_C & x_D \\ y_A & y_B & y_C & y_D \\ z_A & z_B & z_C & z_D \end{vmatrix}$$

Por lo que para calcular el volumen del EPPT que para el caso más general pudiera no ser un paralelepípedo regular, de manera análoga como se formuló para el cálculo del área, se descompone el EPPT en cinco tetraedros para los cuales su volumen es calculado con la Ecuación (5), ver Figura 4.11. Los volúmenes de los tetraedros generales suman como resultado el volumen total del EPPT, ver Tabla 4.3

VÉRTICE "A"	VÉRTICE "B"	VÉRTICE "C"	VÉRTICE "D"
b	b'	a	c
d	a	d'	c
a'	b'	a	d'
c'	d'	c	b'
a	d'	c	b'

Tabla 4.3 Vértices de los cinco tetraedros que componen al EPPT.

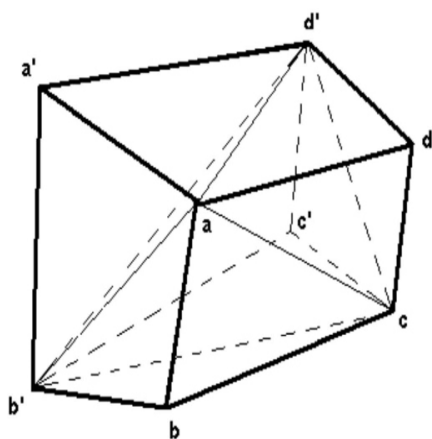


Figura 4.11 Descomposición del EPPT en cinco tetraedros

LONGITUD

En el caso del cálculo de la longitud es necesario especificar que distancia es la que se requiere. Por ejemplo si lo que se quiere es la altura entonces bastaría con hacer la diferencia entre los valores de las coordenadas en z de los niveles superior e inferior de alguno de los extremos del EPPT. Por otra parte, si se desea obtener la longitud y la anchura del EPPT se podría optar por escoger los valores que se tienen en la proyección en planta.

RESULTADOS

Los resultados aquí presentados se basan rigurosamente en la metodología expuesta. Queda completamente definido el Elemento Prismático Paramétrico Tridimensional EPPT incluyendo la metodología para el cálculo de sus áreas, volumen y sus longitudes. Así mismo se plantearon los sistemas de referencia para la utilización de estos elementos.

Se presenta también como resultado algunas pantallas de la herramienta realizada en la Facultad de Ingeniería de la UADY cuyo objetivo es la Edificación Virtual. Ver Figura 4.12. Cabe mencionar que esta herramienta fue construida utilizando conceptos de ingeniería de software y tecnología basada en componentes NET. Entre los componentes más destacados es uno que permite manipular y crear dibujos CAD en 2 y 3 dimensiones, totalmente orientado a objetos. (VectorDraw, 2008). La herramienta fue programada en Visual Studio 6.0 Service Pack 5 (Microsoft, 1998).

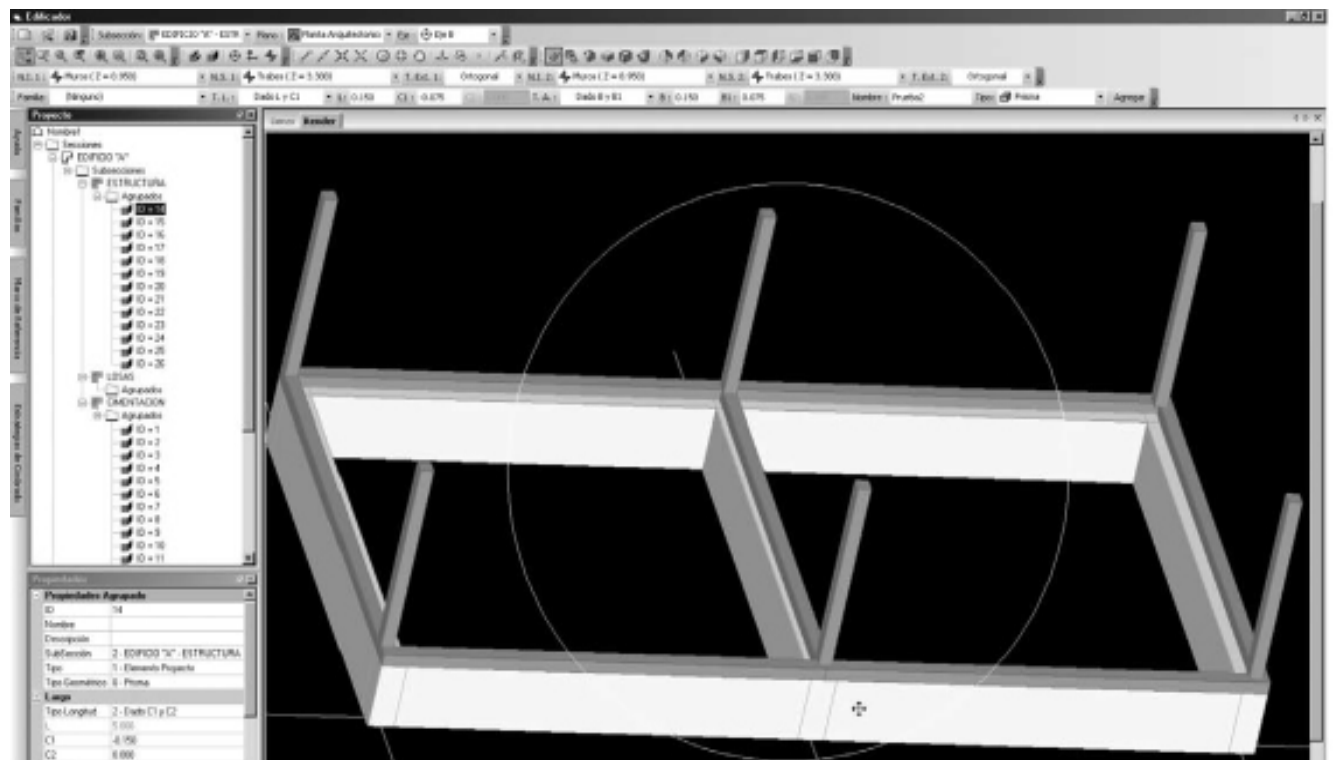
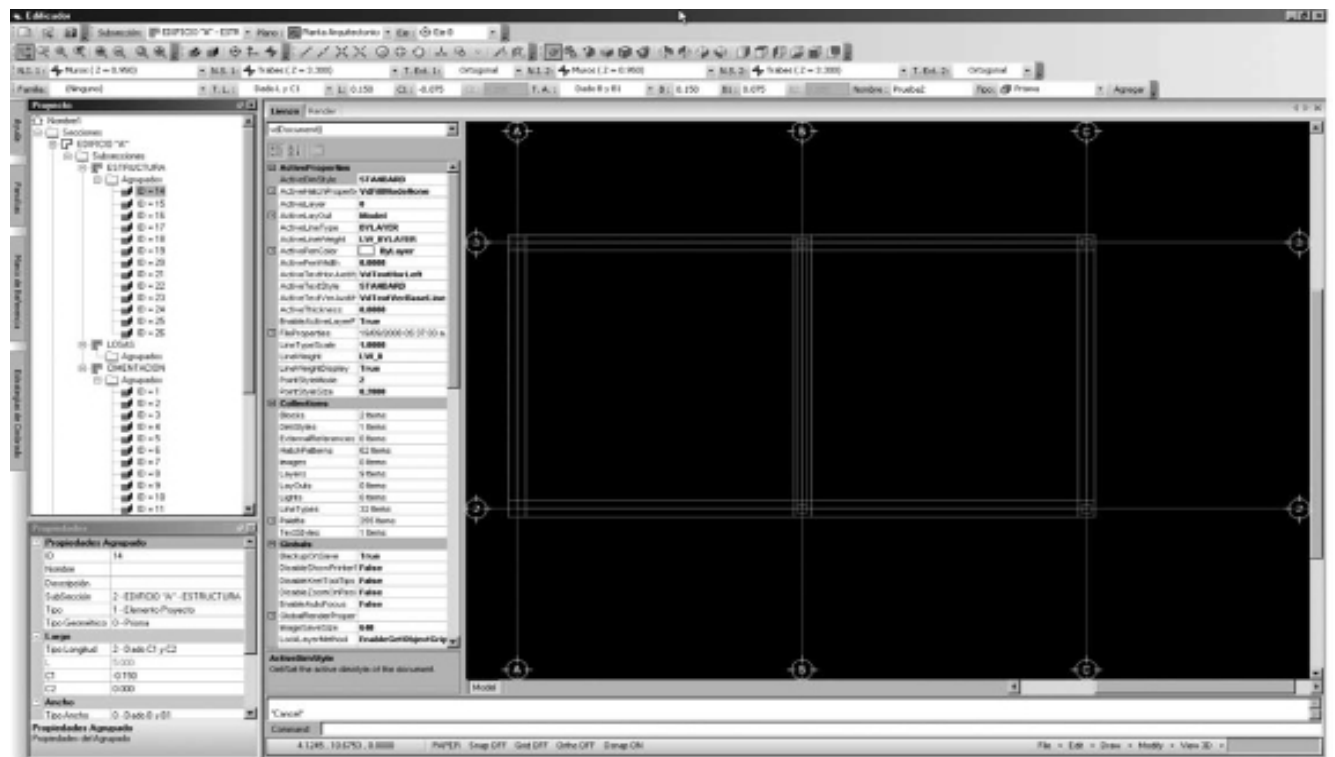


Figura 4.12 Pantallas de la Herramienta desarrollado aplicando los EPPT's

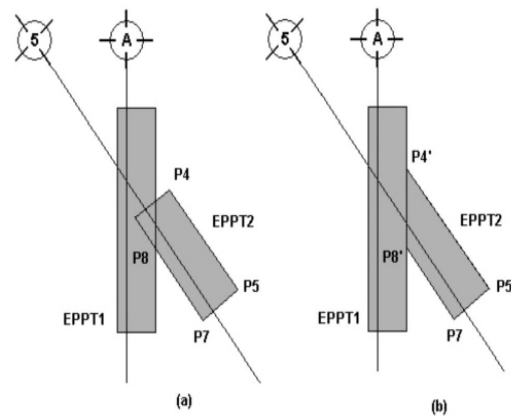
DISCUSIÓN

Se ha presentado en este artículo el desarrollo de un Elemento Prismático Paramétrico Tridimensional (EPPT) para su uso en la construcción virtual. El lector podrá formularse algunas interrogantes acerca de los planteamientos realizados. Por ejemplo, ¿Por qué solamente se considera en la proyección en planta al EPPT de manera ortogonal?, ¿Acaso esto no llevaría a que las uniones con otros elementos quedasen no definidas adecuadamente?

La respuesta a estos inconvenientes que se pueden presentar, se lograrán con las técnicas de inteligencia artificial del software donde sean programados y utilizados estos elementos. Por ejemplo, con lógica difusa o fuzzy logic (S. Coupland, et al., 2006) se pueden determinar las proyecciones necesarias del elemento para cerrar las uniones entre uno o más EPPTs cuando éstas sean requeridas, ver Figura 4.13. Pero sin alterar la manera en que el usuario los ha definido para su uso. Cabe aclarar que estas técnicas están fuera del alcance de este artículo.

Por otro lado los EPPT no resuelven todos los casos de edificación virtual que existen. Por ejemplo, una losa o un piso pudieran tener más de cuatro vértices en proyección en planta, ver Figura 4.14. Esto requeriría otro tipo de elemento para el cual habría que hacer un desarrollo específico.

Otro tipo de elementos a desarrollar pudieran ser los requeridos para construir las instalaciones hidráulicas, sanitarias, eléctricas, voz y datos, etc.



Los puntos P4 y P8 del EPPT2 en (a) son sustituidos por P4' y P8' en (b) mediante el cálculo de sus intersecciones con el EPPT1 automáticamente con técnicas de inteligencia artificial.

Figura 4.13 Unión entre dos EPPT resueltas con técnicas de inteligencia artificial

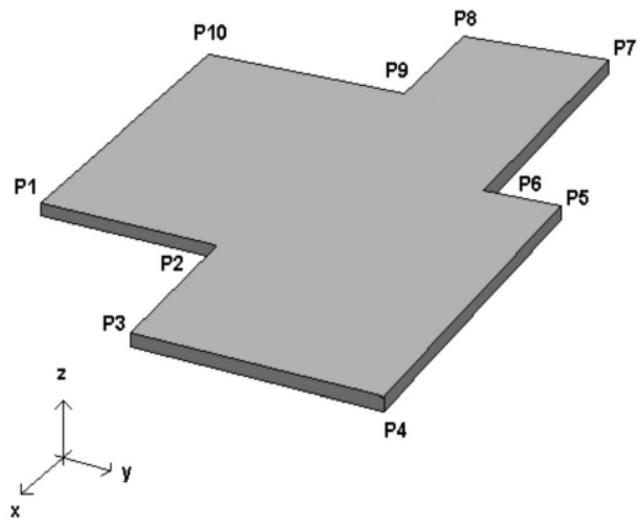


Figura 4.14 Elemento paramétrico tridimensional para losa o piso

CONCLUSIONES

Existen algunos paquetes de software comerciales a nivel mundial cuyo objetivo es la edificación virtual. Sin embargo, la mayoría funcionan como cajas negras que impiden ver cómo son definidos los elementos utilizados. Por lo que esos paquetes no aportan bases para el desarrollo de su mejora por razones obviamente comerciales y de secreto industrial. Sin embargo, en este artículo se presenta de manera detallada el desarrollo de un tipo específico de elemento que puede ser utilizado para la edificación virtual. Que puede resolver una parte significativa de los casos que se presentan en la construcción tales como: muros, columnas, zapatas, dados, dalas, cadenas, muretes, mochetas, etc. Por nombrar algunos de ellos.

La edificación virtual que se propone utilizar estos elementos queda perfectamente definida mediante un sistema de ejes constructivos en planta y un sistema de niveles en alzado. Esto es de vital importancia para revisar la ubicación exacta de algún elemento, sobre todo para fines de cuantificación.

Las matemáticas utilizadas para desarrollar los conceptos aquí expuestos son de un nivel accesible para el público lector, puesto que se usan varios tópicos del álgebra vectorial que por lo general son del dominio del público lector de revistas para la construcción o de ingeniería.

Puede servir también este material expuesto, en un curso de matemáticas en alguna licenciatura de construcción o de ingeniería civil como material didáctico de estímulo para los estudiantes del posible uso de los conceptos matemáticos aprendidos para el desarrollo de herramientas tecnológicas actuales.

REFERENCIAS

- AutoDesk, Revit, www.autodesk.com (2008)
- Graphisoft, ArchiCAD www.graphisoft.com (2008)
- Neo Data, Neo Data CAD, www.neodata.com.mx (2008)
- G. Suter, K. Brunner, A. Mahdavi, Building model reconstruction based on sensed object location information, *Automation in Construction* 16 (2007) 2-12
- K. Nassar, W. Thabet, Y. Beliveau, Building assembly detailing using constraint-based modeling, *Automation in Construction* 12 (2003) 365-379
- K. Talbot, Context-sensitivity and visual engagement in generative systems, *Automation in Construction* 16 (2007) 54-60
- P.-H. Chen, L. Cui, Q. Yang, S. Ting, R. Tiong, Implementation of IFC-based web server for collaborative building design between architects and structural engineers, *Automation in Construction* 14 (2005) 115-128
- R. Kunigahalli, 3D Modeling for Computer-Integrated Construction of RC Structures, *J. Comp. in Civ. Engrg., ASCE* 11(2), 92-101
- R. Sacks, Ch. Eastman, G. Lee, Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete, *Automation in Construction* 13 (2004) 291-312
- S. Coupland, R. John, Geometric Type-1 and Type-2 Fuzzy Logic Systems, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1-12

EcoSoft, AllPlan, www.ecosoft.com.mx , (2008)

VectorDraw, www.vdraw.com, (2008)

Visual Studio 6.0 Service Pack 5, Microsoft, (1998).

ACERCA DE LOS AUTORES

Jesús Nicolás Zaragoza Grifé: Profesor Investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias No Contaminantes x Periférico Norte, Mérida, Yucatán, México, zgrife72@uady.mx (Researcher Professor of Faculty of Engineering, Autonomous University of Yucatán).

Josué Gerardo Pech Pérez: Profesor de Carrera de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias No Contaminantes x Periférico Norte, Mérida, Yucatán, México, pperez@uady.mx (Professor of Faculty of Engineering, Autonomous University of Yucatán).